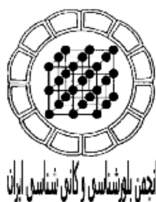
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۴، از صفحهٔ ۵۵۵ تا ۵۶۸



بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی شیمی و ژئوشیمی توده‌های لامپروفیری و گابروی قلیایی هوای (شمال‌شرقی هوراند، شمال‌غربی ایران)

علیرضا روان‌خواه[*۱]، محسن مؤید[۱]، محمدرضا حسین‌زاده[۱]، امیرمرتضی عظیم زاده[۲]، جمشید حسن‌زاده[۳]، نصیر عامل[۱]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲-گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۳- مؤسسه تکنولوژی کالیفرنیا، بخش زمین شناسی و نجوم

(دریافت مقاله: ۹۳/۶/۹ ، نسخه نهایی: ۹۳/۹/۲۵)

چکیده: توده‌ی لامپروفیری هوای در شمال‌شرق هوراند و شمال‌غرب ایران و به شکل لاکولیت در هسته‌ی طاقدیسی پلانچ‌دار با روند محوری WNW–ESE و متشکل از نهشته‌های فیلیشوئیدی کرتاسه فوقانی– پالئوسن تزریق شده و خود به‌وسیله‌ی استوک گابروی قلیایی قطع شده است. ترکیب سنگ‌شناسی توده‌ی لامپروفیری کامپتونیت تا سانائیت ارزیابی شده است. ماگمای مولد الیوین گابروها و لامپروفیرها براساس نمودار TAS دارای سرشت قلیایی هستند. براساس نمودارهای عنکبوتی در هر دو گروه سنگی، غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE مشاهده می‌شود. دما- فشارسنجی به روش‌های متعدد نشان می‌دهد که فشار تبلور کانی‌های توده‌ی لامپروفیری ۶ کیلوبار و دمای ۸۷۷ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و الیوین در الیوین گابروها در دمای ۱۰۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد متبلور شده است. ماگمای مولد گابروی قلیایی از ذوب ۵ درصدی اسپینل – گارنت لرزولیت و لامپروفیر قلیایی از ذوب یک درصد اسپینل– گارنت لرزولیت حاصل شده‌اند. گابروی قلیایی از ذوب گوشته لیتوسفری غنی شده ریشه گرفته و با صعود به سمت بالا در قاعده‌ی پوسته‌ی قاره‌ای متوقف شده و ضمن آلایش اندک با مواد پوسته‌ای به ماگمای مولد لامپروفیرهای قلیایی تغییر کرده است و در ترازهای بالای پوسته‌ای و در محور طاقدیس پلانچ‌دار جایگیری کرده و به‌دنبال آن با صعود دیاپیرهای ماگمای بازالتی قلیایی و تزریق آن به داخل توده‌ی لامپروفیری، استوک گابروئی شکل گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر دو گروه سنگی در یک محیط قوس ماگمائی پسا برخوردی، تکوین یافته‌اند.

واژه‌های کلیدی: *لامپروفیر؛ هوای؛ لاکولیت؛ ترموبارومتری؛ گوشته لیتوسفری؛ قوس ماگمائی.*

مقدمه

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌شرق هوراند (شرق شهرستان کلیبر) در استان آذربایجان‌شرقی و شمال‌غربی ایران به مختصات جغرافیائی '۲۵ °۴۷ تا '۳۳ °۴۷ طول شرقی و '۵۲ °۳۸ تا '۰۰ °۳۹ عرض شمالی واقع شده است. در طول ترشیر و کواترنر زون ایران مرکزی و البرز غربی– آذربایجان شاهد ماگماتیسم وسیعی در راستای NW-SE بوده است و اغلب لامپروفیرهای شناخته شده نظیر شریف‌آباد خوی [۱]، منور [۲]، جزیره‌ی اسلامی [۳] و قخلار مرند [۴] وابسته به اواخر دوران سوم (پلیوسن) و برخی دیگر نظیر گوی پشتی مراغه [۵]، میشو [۶] و کرینگان [۷] دارای سن قدیمی‌تر هستند. با توجه به مشخصات کانی‌شناسی و شواهد ژئوشیمیائی، نمونه‌های لامپروفیری بررسی شده از نوع قلیایی بوده و جزء کامپتونیت‌ها تا سانائیت‌ها هستند. توده‌ی

*نویسنده مسئول، تلفن - نمابر: ۰۴۱-۴۴۵۵۴۶۹۶ ، پست الکترونیکی: aravankhah2013@gmail.com

لامپروفیری درون نهشته‌های نوع فیلیش‌گونه با سن کرتاسه فوقانی-پالئوسن شامل تناوبی از رسوب‌های ماسه‌سنگی، مارنی و آهک تزریق شده و خود به‌وسیله‌ی الیوین گابرو قطع می‌شود. اولین بررسی‌های انجام گرفته در این منطقه برای تهیه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر و لاهرود) توسط سازمان زمین‌شناسی کشور است. این بررسی‌ها کلی بوده و صرفاً به منظور تفکیک واحدها و ساختارهای مختلف زمین-شناسی از یکدیگر انجام گرفته است و اشاره‌ای به وجود توده-های لامپروفیری در این نقشه‌ها نشده و توده‌ی لامپروفیری مورد بررسی نیز تحت عنوان دیوریت معرفی شده است. برخی از پژوهشگران از جمله شیردل و همکاران [۸] بررسی توده‌های نفوذی این منطقه را موضوع پژوهش خود قرار داده‌اند.

روش بررسی

پس از بررسی مقاطع نازک و انتخاب نمونه‌های مناسب، به منظور بررسی ترکیب شیمیائی کانی‌ها، تعداد ۳ نمونه (۲ نمونه لامپروفیر و ۱ نمونه الیوین گابرو) با استفاده از یک ریزپردازنده‌ی الکترونی JEOL مدل JXA-8200 در مؤسسه‌ی تکنولوژی کالیفرنیا با استفاده از پرتو الکترونی متمرکز با ولتاژ شتاب دهنده‌ی 15 kV و شدت جریان 25 nA تجزیه شدند. همچنین ۱۸ نمونه از واحدهای مختلف سنگی (۱۰ نمونه لامپروفیر و ۸ نمونه الیوین گابرو) به روش ICP-Ms در آزمایشگاه Labwest Minerals Analyses استرالیا (آنالیز عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی) (مدل ICP-MS: Perkin elmer model nexion) (آنالیز اکسیدهای عناصر اصلی در شرکت بررسی‌های مواد معدنی زرآزما) برای دست‌یابی به عناصر کلیدی به روش ذوب قلیائی تجزیه شدند.

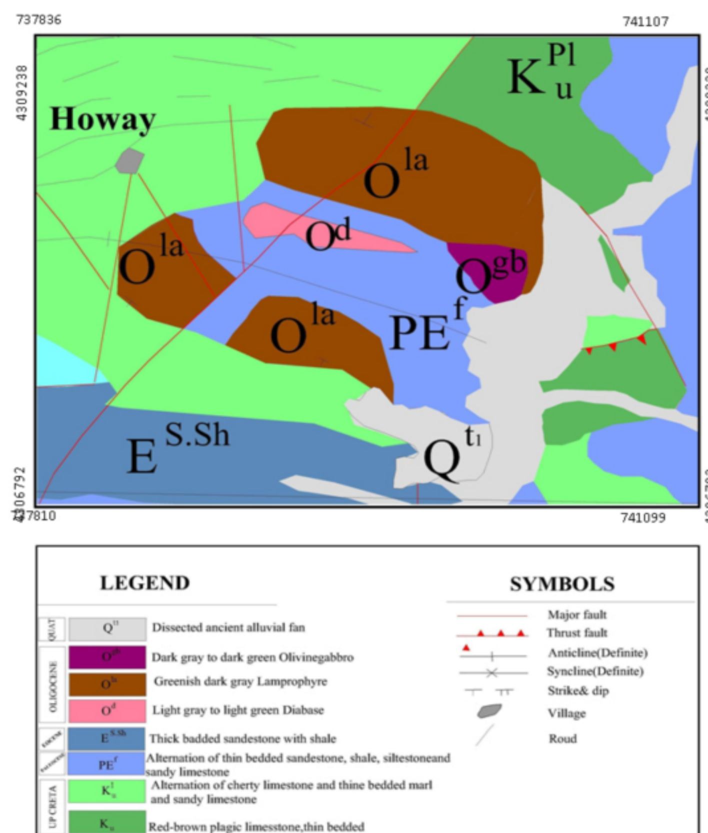
زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌غربی ایران، استان آذربایجان-شرقی و در شمال‌شرقی هوراند (شرق شهرستان کلیبر) واقع شده است. این گستره در منطقه‌بندی‌های زمین‌شناسی ایران، بخشی از منطقه‌ی ماگمائی ترشیر-کواترنر [۹] و پهنه‌ی مرکزی [۱۰] محسوب می‌شود. رخنمون اصلی سنگ‌های غالب در گستره‌ی مورد بررسی سنگ‌های فیلیشوئیدی، آتشفشانی و آتشفشان-آواری و کربنات پلاژی کرتاسه فوقانی- پالئوسن است که زیر عنوان سازند مجیدآباد از آن‌ها یاد شده است. توده‌های مورد بررسی به‌صورت پراکنده در لابلای این مجموعه رخنمون یافته‌اند (شکل ۱). توده‌ی لامپروفیری به شکل لاکولیت در هسته طاقدیس پلانچدار متشکل از این نهشته‌ها تزریق شده و خود به‌وسیله‌ی توده‌ی الیوین گابرو قطع شده است. توده‌ی لامپروفیری مورد بررسی در دو بخش از منطقه‌ی مورد بررسی برونزد دارد: ۱- توده‌ی لامپروفیری موجود در هسته‌ی طاقدیس و یال جنوبی آن که به سمت جنوب‌غربی شیب دارد و ۲- ادامه‌ی لاکولیت لامپروفیری در یال شمالی طاقدیس که به سمت شمال‌شرقی شیب دارد (شکل ۲- الف). بررسی‌های صحرائی و اندازه‌گیری‌های ساختاری نشان می‌دهد که توده‌ی لامپروفیری در هسته یک طاقدیس پلانچدار با روند محوری WNW-ESE و با پلانچ به سوی SE جایگیری کرده و در حقیقت رخنمون یک لاکولیت در دو یال یک طاقدیس محسوب می‌شود. لازم به یادآوری است که توده‌ی لامپروفیری در هسته‌ی طاقدیس دارای ضخامت زیاد (حدود ۲۰ متر) بوده و به سمت یال‌ها و با دور شدن از محور طاقدیس از ضخامت آن کاسته می‌شود. به سمت جنوب‌شرقی و در راستای پلانچ طاقدیس، توده‌ی الیوین گابرو به صورت گنبد کوچک به داخل توده‌ی لامپروفیری تزریق شده است (شکل ۲- ب). سن توده‌ی لامپروفیری که در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلیبر کوارتزدیوریت معرفی شد، به الیگوسن نسبت داده می‌شود. بر این اساس سن توده‌ی الیوین گابرو نیز از توده لامپروفیری جوان‌تر خواهد بود.

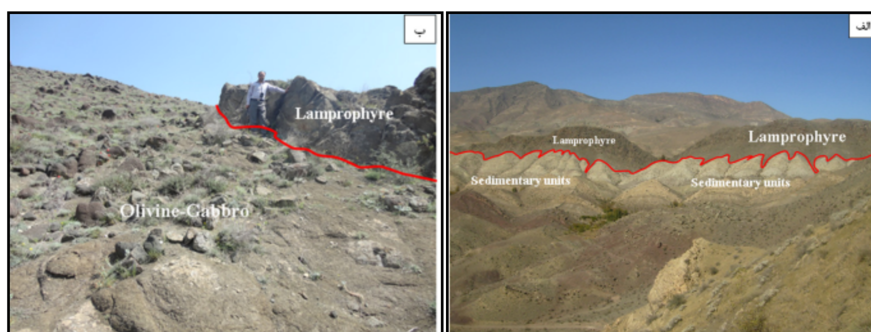
سنگ نگاری

توده‌ی لامپروفیری مورد بررسی عموماً از کانی‌های آمفیبول، پلاژیوکلاز، پیروکسن، پتاسیم فلدسپار، بیوتیت و الیوین تشکیل یافته است. این گروه از سنگ‌ها دارای بافت دانه‌ای (شکل ۳- الف)، پوئی‌کلیتیک، افیتیک و ساب افیتیک هستند. آمفیبول که مهم‌ترین کانی فرومنیزین تشکیل دهنده‌ی تمام نمونه-هاست به‌صورت فنوکریست‌های متوسط تا درشت (۱-۵ میلی-متر) (شکل ۳- ب)، شکل‌دار (منشورهای کشیده و شش ضلعی) و با پلئوکروئیسم قهوه‌ای قابل مشاهده است. کلریتی شدن، سریسیتی شدن و سوسوریته شدن از جمله دگرسانی-های قابل مشاهده در بلورهای پلاژیوکلاز هستند که از مهم-ترین و فراوان‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده‌ی زمینه‌ی سنگ محسوب می‌شوند. پیروکسن در این توده بیشتر از نوع کلینوپیروکسن بوده و منطقه‌بندی، کلریتی و اورالیتی شدن در این کانی‌ها قابل مشاهده‌اند. در نمونه‌های بررسی شده ارتوپیروکسن نیز مشاهده شده ولی نسبت به کلینوپیروکسن از فراوانی کمتری برخوردار بوده و با خاموشی مستقیم (موازی) قابل تشخیص است. وجود منطقه‌بندی و کلریتی شدن در برخی از بیوتیت‌ها از ویژگی‌های روشن مشاهده شده در این نمونه‌هاست. در نمونه‌های بررسی شده، بیوتیت‌های رشته‌ای (شکل ۳- پ) و رشد شعاعی بیوتیت‌های ثانویه قابل مشاهده-

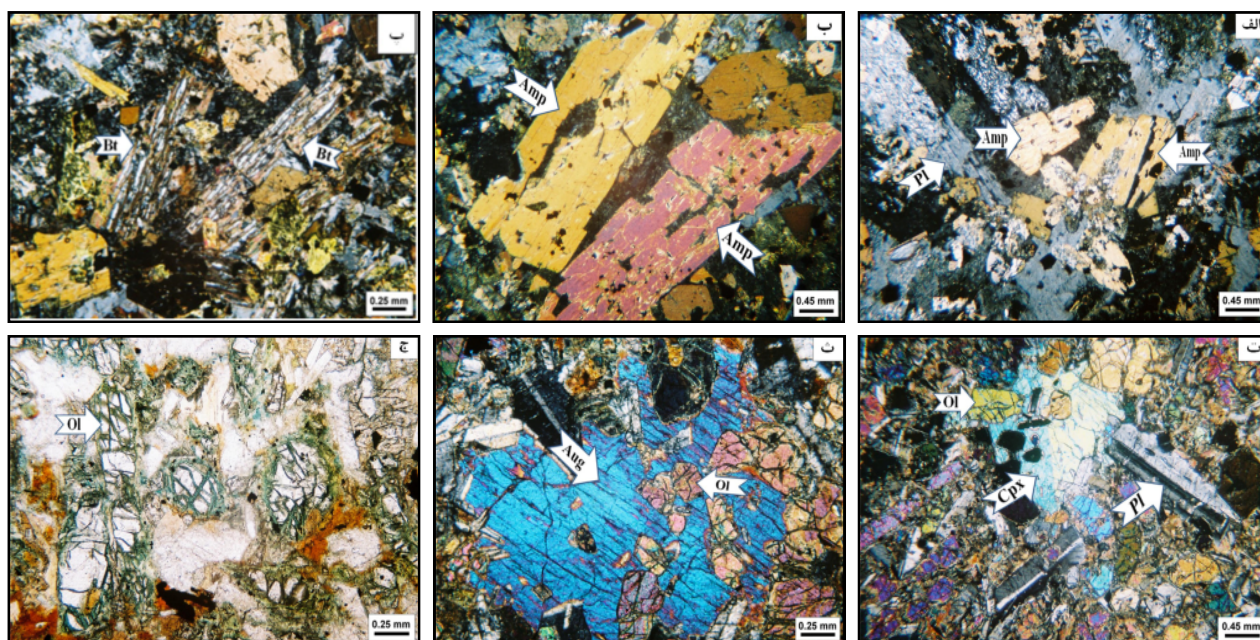
اند. با توجه به مشخصات کانی‌شناسی ترکیب لامپروفیرهای مورد بررسی کامپتونیت تا سانائیت ارزیابی شده است. توده‌ی الیوین گابرو با کانی‌شناسی اصلی الیوین (۳۵ تا ۴۵ درصد)، پلاژیوکلاز (۲۰ تا ۳۰ درصد) و پیروکسن (۲۰ تا ۲۵ درصد) و در برخی از نمونه‌ها فلوگوپیت (۵ تا ۱۰ درصد) و کانی‌های فرعی آپاتیت و کانی‌های کدر است. بافت این دسته از سنگ‌ها دانه‌دار (شکل ۳- ت) بوده و بافت‌های فرعی پوئی‌کلیتیک، افیتیک نیز در آن‌ها مشاهده می‌شوند. الیوین‌ها به‌صورت فنوکریست‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، و هم به صورت بلورهای کوچک در زمینه و نیز در داخل پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها (بافت پوئی‌کلیتیک) قابل مشاهده‌اند (شکل ۳- ث). بعضی از الیوین‌ها نخست به کلریت و سپس به سرپانتین تبدیل شده‌اند (شکل ۳- ج). پلاژیوکلازها در بیشتر نمونه‌ها منطقه‌بندی نشان می‌دهند. پلاژیوکلاز دومین فاز بلوری متبلور شده ماگماست که بافت‌های افیتیک مشاهده شده نمایانگر تقدم تبلور پلاژیوکلازها نسبت به پیروکسن‌هاست. پیروکسن‌ها فراوان‌ترین کانی فرومنیزین موجود پس از الیوین‌ها هستند. پیروکسن‌ها بیشتر از نوع کلینوپیروکسن بوده و دارای منطقه‌بندی هستند. ادخال الیوین در کلینوپیروکسن‌ها نشانگر بافت پوئی‌کلیتیک است.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰.



شکل ۲ الف توده لامپروفیری در یال شمالی طاقدیس، دید به سمت شمال، ب) تزریق توده الیوین گابرو به داخل توده لامپروفیر، دید به سمت شرق.



شکل ۳ تصاویر مقاطع میکروسکوپی: الف- بافت دانه‌ای در لامپروفیر، (XPL)، ب- فنوکریستال‌های آمفیبول در لامپروفیر، (XPL)، پ- بیوتیت‌های رشته‌ای در لامپروفیر، (XPL)، ت- بافت دانه‌ای در الیوین گابرو، (XPL)، ث- ادخال‌های الیوین در اوژیت (بافت پوئی‌کلیتیک)، (XPL)، ج- الیوین سرپانتینی شده، (PPL) (علائم اختصاری کانی‌ها از [۱۱].

ژئوشیمی

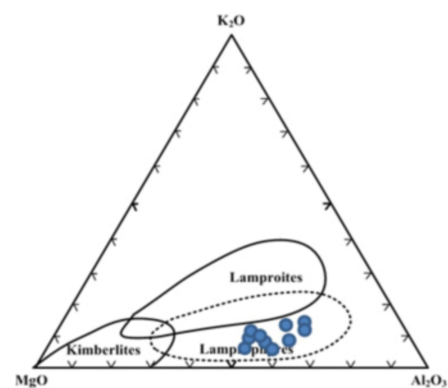
در جدول ۱ بررسی نمونه‌های مربوط به لامپروفیرها و در جدول ۲ الیوین گابروها آورده شده‌اند. براساس نمودار سه وجهی K_2O,MgO,Al_2O_3 [۱۲] (شکل ۴) که برای تمایز لامپروفیرها، لامپروئیت‌ها و کیمبرلیت‌ها طراحی شده است، نمونه‌های مورد نظر در گستره‌ی لامپروفیر قرار می‌گیرند. بنابر نمودار سه وجهی Al_2O_3-MgO-CaO پیشنهادی [۱۳]، ماگمای مولد نمونه‌های لامپروفیری مورد بررسی دارای سرشت قلیایی هستند (شکل ۵). براساس نمودار دو وجهی Na_2O+K_2O-SiO_2 [۱۴] (شکل ۶) ماگمای مولد نمونه‌های لامپروفیری و الیوین گابروی مورد بررسی از نوع قلیایی تعیین شده است. بررسی روند تغییرات میانگین عناصر کمیاب بر اساس نمودارهای عنکبوتی عادی نسبت به کندریت و گوشته اولیه در لامپروفیرها و الیوین گابروها نشانگر غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) و عناصر ناسازگار نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) است. غنی‌شدگی از LILE و LREE و تهی‌شدگی از HREE در این الگو می‌تواند نشانگر وجود گارنت در مواد خاستگاه، نرخ کم ذوب، گریزندگی بالای CO_2/H_2O در محیط تشکیل ماگمای لامپروفیری و الیوین گابرو و یا عمق زیاد تشکیل ماگمای مولد دایک‌های لامپروفیری و الیوین گابرو باشد. بی‌هنجاری مثبت Pb (به خصوص در الیوین گابروها) به آلایش ماگما با پوسته قاره‌ای و بی‌هنجاری منفی Zr و Hf نیز به آلایش پوسته‌ای اشاره دارد. بالا بودن فراوانی عناصر LREE و LILE بیانگر متاسوماتیزه شدن گوشته غنی شده است، بنابراین گوشته متاسوماتیزه می‌تواند به‌عنوان منبع سنگ‌های لامپروفیری و الیوین گابرو مطرح شود. بی‌هنجاری مثبت Nb نشانگر خاستگاه احتمالی گوشته‌ای نمونه‌های الیوین گابرو و جدایش از یک ماگمای گوشته‌ای عمیق است که این ویژگی با بی‌هنجاری منفی Y تأیید می‌شود. غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE به وسیله‌ی نسبت‌های $(La/Sm)_N$ و $(La/Yb)_N$ قابل تشخیص است. میانگین نسبت $(La/Sm)_N$ در لامپروفیرها ۴/۲۴ و در الیوین گابروها ۳/۳۵ و میانگین نسبت $(La/Yb)_N$ در لامپروفیرها ۳۲/۴۷ و در الیوین گابروها ۱۵/۳۳ است که بیانگر غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE در نمونه‌های مورد بررسی است. غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE از ویژگی‌های ماگماهای قلیایی تولید شده در موقعیت‌های درون صفحه‌ای است [۱۵] (شکل‌های ۷ و ۸) [۱۶ و ۱۷].

جدول ۱ نتایج تجزیه‌ی شیمیائی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های لامپروفیر.

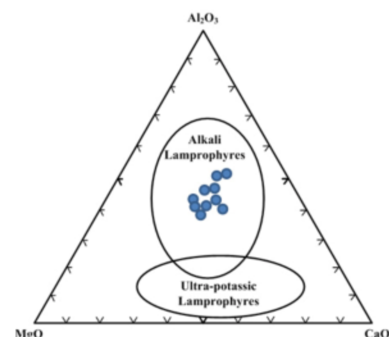
	HR-002	HR-005	HR-007	HR-036	HR-040	HR-045	HR-050	HR-053	HR-056	HR-142
SiO2(%)	۴۱٫۹۷	۴۱٫۵۳	۴۲٫۸۹	۴۴٫۹۱	۴۱٫۹۸	۴۴٫۱۸	۴۲٫۸۲	۴۳٫۷۵	۴۳٫۸۸	۴۲٫۹۸
Al2O3(%)	۱۲٫۸۹	۱۲٫۵۷	۱۲٫۴۱	۱۵٫۱۶	۱۲٫۹۲	۱۵٫۵۳	۱۲٫۶۱	۱۴٫۹۹	۱۴٫۹۸	۱۳٫۷۳
Fe(%)	۱۱٫۱۵	۱۲٫۱۸	۱۳٫۴۹	۱۰٫۲۵	۱۱٫۴۶	۱۰٫۰۳	۱۳٫۶۹	۹٫۴۲	۱۲٫۷۳	۱۱٫۰۵
CaO(%)	۹٫۸۳	۹٫۰۳	۹٫۳۶	۸٫۴۴	۹٫۳۲	۸٫۷۶	۹٫۲۸	۸٫۹۸	۷٫۴۲	۹٫۹۷
MgO(%)	۹٫۸۲	۹٫۷۸	۸٫۳۶	۵٫۲۷	۹٫۳۵	۶٫۰۲	۸٫۲۹	۸٫۱۷	۷٫۸۱	۹٫۹۸
Na2O(%)	۱٫۸۲	۲٫۵۸	۲٫۳۸	۲٫۲۸	۱٫۸۶	۲٫۷۴	۲٫۳۴	۲٫۴۸	۲٫۶۶	۲٫۰۵
K2O(%)	۲٫۶۷	۲٫۹۱	۱٫۹۹	۳٫۹۸	۲٫۶۹	۴٫۳۶	۱٫۸۲	۳٫۸۱	۲٫۸۱	۲٫۹۸
TiO2(%)	۳٫۳۱	۳٫۵۶	۳٫۴۴	۳٫۲۴	۲٫۷۱	۲٫۹۹	۳٫۴۱	۳٫۰۲	۲٫۹۶	۲٫۸۳
MnO(%)	۰٫۱۷	۰٫۱۴	.۲۲	۰٫۲۶	۰٫۱۷	۰٫۲۶	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۲۴	۰٫۱۶
P2O5(%)	۰٫۹۷	۰٫۸۲	۰٫۸۱	۱٫۳۹	۰٫۷۲	۱٫۲۴	۰٫۷۶	۰٫۹۸	۰٫۸۲	۰٫۷۴
Ba(ppm)	۱۰۵۰	۱۱۱۰	۶۹۸	۱۱۲۰	۱۰۱۷	۶۶۸	۵۹۸	۵۶۳	۸۵۸	۸۰۲
Cd(ppm)	۰٫۴	۰٫۴۴	۰٫۳	۰٫۳۲	۰٫۴	۰٫۱۲	۰٫۱۸	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱۳
Ce(ppm)	۱۵۳	۱۵۳	۱۵۸٫۳	۱۸۱٫۲	۱۲۸	۱۱۵	۱۶۱٫۲	۱۰۴	۱۵۷	۹۵
Co(ppm)	۲۳٫۶	۲۷٫۸	۵۱٫۸	۳۰٫۳	۵۴٫۲	۳۸٫۱	۵۳٫۸	۴۰٫۴	۴۴٫۳	۴۶٫۵
Cr(ppm)	۹۲	۱۹۸	۱۹۱	۹۸	۳۲۸	۱۸۸	۱۸۸	۲۸۳	۱۶۰	۲۴۵
Cs(ppm)	۱٫۳	۰٫۸	۰٫۸۲	۱٫۴۱	۱٫۰۲	۰٫۶	۰٫۹۸	۰٫۵	۱٫۵۵	۰٫۴
Dy(ppm)	۶٫۶۷	۷٫۰۱	۶٫۰۶	۷٫۶۲	۵٫۲۸	۵٫۴۶	۶٫۰۹	۶٫۳۹	۶٫۱۸	۶٫۶۴
Er(ppm)	۳٫۱۸	۳٫۵	۲٫۹۱	۳٫۶۱	۲٫۵۲	۲٫۴	۲٫۸۶	۲٫۲۶	۲٫۹۲	۲٫۳۹
Eu(ppm)	۳٫۴	۳٫۳۳	۲٫۸۱	۳٫۹۲	۲٫۵۱	۲٫۶	۲٫۸۳	۲٫۲۱	۳٫۰۶	۲٫۳۳
Ga(ppm)	۱۸٫۳	۱۸٫۸	۲۱٫۲	۲۲٫۸	۱۹٫۳	۱۶٫۸	۲۰٫۸	۱۵٫۴	۲۱٫۹	۱۶٫۶
Gd(ppm)	۱۲٫۴	۱۲٫۶	۹٫۲۱	۱۲٫۶۱	۸٫۳۷	۸٫۹۷	۹٫۱۳	۸٫۶۸	۹٫۶۸	۷٫۰۷
Ge(ppm)	۱٫۱۴	۱٫۱۱	۱٫۳	۱٫۱۵	۱٫۱۴	۱٫۳۱	۱٫۲۵	۱٫۳۴	۱٫۳۲	۱٫۲۲
Hf(ppm)	۶٫۸۸	۷٫۶۷	۶٫۴	۷٫۳	۶٫۱	۶٫۵۸	۷٫۲	۵٫۷۴	۷٫۲	۵٫۲۳
Ho(ppm)	۱٫۲۴	۱٫۳۴	۱٫۳۸	۱٫۴۲	۱٫۰۸	۰٫۹۳	۱٫۳۱	۰٫۸۹	۱٫۲۶	۰٫۹۴
La(ppm)	۸۷٫۷	۸۶٫۱	۶۸٫۶	۸۹٫۲	۶۱٫۹	۵۴٫۴	۶۹٫۲	۴۸٫۴	۷۸٫۶	۵۲٫۹
Lu(ppm)	۰٫۴۹	۰٫۴۹	۰٫۳۱	۰٫۴۲	۰٫۲۸	۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۲۱	۰٫۳۷	۰٫۲۸
Nb(ppm)	۱۴۹	۱۲۸	۹۸٫۲	۱۲۰٫۲	۹۲٫۴	۸۸٫۲	۹۴٫۶	۸۶٫۸	۱۰۵٫۸	۷۹٫۶
Nd(ppm)	۶۳٫۲	۶۹٫۷	۵۱٫۲	۷۰٫۶	۴۸٫۳	۵۱٫۵	۵۱٫۸	۴۶٫۲	۵۷٫۲	۴۲٫۱
Ni(ppm)	۴۳	۵۷	۱۱۸	۸۲	۲۱۲	۸۴	۱۲۱	۹۹	۹۶	۲۰۱
Pb(ppm)	۸٫۱	۸٫۴	۸	۹	۵	۵٫۲	۶	۵٫۷	۷	۴٫۸
Pr(ppm)	۱۷٫۷۳	۱۸٫۹۱	۱۴٫۳۹	۱۹٫۶۱	۱۳٫۱۲	۱۲٫۴۷	۱۴٫۱۸	۱۱٫۱۶	۱۵٫۶۲	۱۱٫۰۲
Rb(ppm)	۷۹٫۸	۹۱٫۱	۴۴٫۱	۷۵٫۶	۴۹٫۸	۴۹٫۹	۴۱٫۳	۴۵٫۲	۷۰٫۱	۴۱٫۷
Sc(ppm)	۹	۱۲	۳۲	۱۷	۱۴	۲۷	۳۰	۳۲	۲۵	۳۹
Sm(ppm)	۱۲٫۷۳	۱۱٫۹۲	۹٫۰۲	۱۲٫۸۶	۸٫۴۴	۹٫۶۱	۹٫۹۶	۸٫۶۲	۱۰٫۳۱	۷٫۷۷
Sr(ppm)	۱۱۰۰	۹۱۳	۷۶۳	۹۳۶	۶۸۲	۷۷۵	۷۷۱	۷۵۱	۶۸۴	۸۰۲
Ta(ppm)	۸٫۷۲	۷٫۶۱	۶٫۲	۷٫۶	۵٫۸	۶٫۱۵	۶٫۳	۶٫۰۲	۶٫۸	۵٫۹۸
Tb(ppm)	۱٫۳	۱٫۳۲	۱٫۲۵	۱٫۶۲	۱٫۱۸	۱٫۰۸	۱٫۲۹	۰٫۹۹	۱٫۳۷	۰٫۸۷
Th(ppm)	۱۱٫۹۲	۱۳٫۰۲	۹٫۸۱	۱۱٫۴۶	۷٫۴۸	۸٫۴۸	۹٫۱۷	۷٫۴	۱۰٫۹۸	۶٫۹۷
Tm(ppm)	۰٫۴۵	۰٫۵	۰٫۳۷	۰٫۴۵	۰٫۲۹	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۲۵	۰٫۳۹	۰٫۲
U(ppm)	۳٫۲	۳٫۳۷	۲٫۴۱	۲٫۹۱	۱٫۹۹	۲٫۸۹	۲٫۳۶	۲٫۶	۲٫۷۹	۲٫۳۲
V(ppm)	۲۲۶	۲۶۵	۴۰۱	۲۹۸	۲۹۲	۳۱۷	۳۹۴	۳۰۰	۳۲۲	۲۸۱
Y(ppm)	۳۰٫۵	۳۳٫۵	۳۰٫۱	۳۶٫۲	۲۴٫۷	۲۳٫۴	۲۷٫۸	۲۸٫۸	۲۹٫۷	۲۴٫۵
Yb(ppm)	۲٫۷۴	۳٫۰۱	۲٫۸۳	۲٫۸۹	۲٫۰۱	۲٫۰۸	۲٫۳۹	۲٫۴۷	۲٫۵۴	۲٫۱۲
Zn(ppm)	۳۷٫۱	۵۲٫۱	۱۵۱	۱۴۱	۱۲۲	۶۶٫۸	۱۴۷	۶۵٫۸	۱۵۴	۴۵٫۷
Zr(ppm)	۳۵۲	۳۰۱	۲۹۵	۳۳۲	۲۳۲	۲۴۳	۲۹۸	۲۱۳	۳۲۱	۲۳۱

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیائی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های الیوین گابرو.

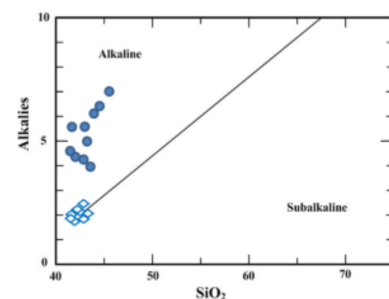
	HR-136	HR-137	HR-138	HR-139	HR-140	HR-143	HR-146	HR-147
SiO2(%)	۴۲٫۲۱	۴۲٫۹۱	۴۳٫۰۶	۴۲٫۱۸	۴۳٫۰۱	۴۲٫۰۹	۴۳٫۸۹	۴۳٫۱۲
Al2O3(%)	۸٫۹۱	۸٫۲۵	۸٫۸۳	۸٫۷۶	۸٫۱۴	۸٫۹۵	۷٫۸۹	۹٫۰۲
Fe(%)	۱۳٫۴	۱۳٫۲۸	۱۳٫۳۸	۱۲٫۲۹	۱۳٫۱۵	۱۳٫۳۳	۱۳٫۲	۱۳٫۱۲
CaO(%)	۵٫۴۲	۵٫۱۴	۵٫۳۲	۵٫۳۱	۵٫۱۸	۵٫۴۴	۵٫۳۶	۵٫۳۸
MgO(%)	۲۲٫۰۲	۲۲٫۴۲	۲۲٫۳۸	۲۱٫۹۱	۲۲٫۱	۲۲٫۳۱	۲۳٫۳۸	۲۲٫۸۱
Na2O(%)	۱٫۰۲	۱٫۵۶	۱٫۳۸	۱٫۰۹	۱٫۶۸	۱٫۴۱	۱٫۱۶	۱٫۱۱
K2O(%)	۰٫۶۴	۰٫۵۹	۰٫۶۱	۰٫۶۳	۰٫۵۸	۰٫۵۴	۰٫۸۵	۰٫۶۲
TiO2(%)	۰٫۸۹	۰٫۸۹	۱٫۰۲	۰٫۸۳	۰٫۷۹	۰٫۹۳	۰٫۸۵	۰٫۸۸
MnO(%)	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۲	۰٫۱۸	۰٫۱۹	۰٫۱۸	۰٫۱۸	۰٫۱۹
P2O5(%)	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۱۲
Ba(ppm)	۱۹۴	۱۹۸٫۶	۱۵۹٫۵	۱۸۵٫۲	۱۶۹٫۵	۱۶۴	۱۷۸٫۲	۱۷۱
Cd(ppm)	۰٫۱۷	۰٫۲۶	۰٫۲۷	۰٫۲	۰٫۲۴	۰٫۲۵	۰٫۱۹	۰٫۱۷
Ce(ppm)	۳۶	۳۲	۳۴	۲۹٫۵	۲۹	۳۱٫۵	۳۱	۲۹
Co(ppm)	۱۰۷	۱۱۰	۱۱۱	۱۰۳	۱۰۷	۱۰۹	۱۱۲	۱۱۲
Cr(ppm)	۱۲۶۰	۱۳۲۷	۱۲۱۰	۱۲۵۴	۱۳۳۴	۱۲۱۰	۱۳۶۹	۱۲۹۰
Cs(ppm)	۰٫۸	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۲۱	۱٫۱۴	۱٫۲	۰٫۹۸	۱٫۱
Dy(ppm)	۲٫۰۷	۲٫۲۴	۱٫۹۳	۱٫۸۹	۱٫۸۲	۱٫۹۴	۲٫۰۸	۲٫۰۶
Er(ppm)	۱٫۱۴	۱٫۰۷	۱٫۰۴	۰٫۹۱	۰٫۹۴	۱٫۰۸	۱٫۰۲	۰٫۹۸
Eu(ppm)	۰٫۷۹	۰٫۸۴	۰٫۷۳	۰٫۷۹	۰٫۶۹	۰٫۷۳	۰٫۷۳	۰٫۷۱
Ga(ppm)	۹٫۴	۱۱٫۳	۹٫۳۴	۱۰٫۸	۱۰٫۲	۹٫۱۲	۱۰٫۷	۹٫۶۶
Gd(ppm)	۲٫۳۳	۲٫۶۳	۲٫۰۸	۲٫۲۸	۲٫۲۴	۲٫۰۴	۲٫۵۱	۲٫۰۷
Ge(ppm)	۱٫۱	۱٫۱۷	۱٫۱۵	۱	۱٫۱۴	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۱۲
Hf(ppm)	۱٫۳۷	۱٫۶	۱٫۴۸	۱٫۳	۱٫۴	۱٫۳۳	۱٫۲	۱٫۴۶
Ho(ppm)	۰٫۴۵	۰٫۴۷	۰٫۴۲	۰٫۳۹	۰٫۳۷	۰٫۴۱	۰٫۴۱	۰٫۴۱
La(ppm)	۱۲	۱۳٫۷	۱۰٫۴	۱۱٫۷	۱۱٫۱	۱۰٫۵	۱۲٫۶	۱۱٫۱
Lu(ppm)	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۱	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۱۴	۰٫۱۷
Nb(ppm)	۱۸٫۸	۱۷٫۶	۱۷٫۶	۱۵٫۶	۱۳٫۹	۱۷٫۲	۱۷٫۱	۱۷٫۶
Nd(ppm)	۱۰٫۴	۱۱٫۲	۹٫۲	۹٫۷	۹٫۲	۸٫۹۸	۱۰٫۶	۹٫۵۲
Ni(ppm)	۸۹۸	۹۸۳	۹۴۱	۹۱۹	۹۵۱	۹۰۰	۹۹۸	۹۴۱
Pb(ppm)	۲٫۸	۹	۱٫۲	۵	۶	۹٫۲	۵	۱٫۲
Pr(ppm)	۲٫۶۶	۳٫۰۱	۲٫۳۴	۲٫۵۸	۲٫۴۴	۲٫۳	۲٫۸۸	۲٫۴۵
Rb(ppm)	۱۹٫۶	۱۷٫۸	۱۷٫۵	۱۶٫۳	۱۴٫۹	۱۳٫۹	۲۳٫۱	۱۷٫۹
Sc(ppm)	۱۶	۱۵	۱۵	۱۴	۱۳	۱۵	۱۴	۱۵
Sm(ppm)	۲٫۲۶	۲٫۳۱	۲٫۰۷	۲٫۱۳	۲٫۰۸	۲٫۰۳	۲٫۲۱	۲٫۰۴
Sr(ppm)	۳۶۸	۳۳۹	۲۳۹	۲۲۴	۲۰۸	۲۸۹	۲۷۹	۲۸۷
Ta(ppm)	۱٫۵	۱٫۲	۱٫۳۸	۱٫۱	۰٫۹	۱٫۳۲	۱٫۱	۱٫۴۲
Tb(ppm)	۰٫۳۸	۰٫۴۱	۰٫۳۴	۰٫۳۳	۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۳۴	۰٫۳۴
Th(ppm)	۱٫۴۱	۱٫۹۲	۱٫۲۶	۱٫۵۸	۱٫۴۱	۱٫۲۵	۱٫۶۹	۱٫۳۱
Tm(ppm)	۰٫۱۷	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۶	۰٫۱۴	۰٫۱۵
U(ppm)	۰٫۳۱	۰٫۵۴	۰٫۲۸	۰٫۴۹	۰٫۴۵	۰٫۳۴	۰٫۳۹	۰٫۲۸
V(ppm)	۱۱۹	۱۲۹	۱۱۰	۱۱۷	۱۰۶	۱۱۰	۱۲۳	۱۱۰
Y(ppm)	۱۱٫۷	۱۰٫۱	۱۱٫۴	۹٫۲	۸٫۶	۱۰٫۹	۹٫۴	۱۱٫۷
Yb(ppm)	۰٫۹۸	۰٫۹۹	۰٫۹۴	۰٫۸۱	۰٫۷۸	۰٫۸۸	۰٫۸۹	۰٫۹۳
Zn(ppm)	۱۰۱	۱۳۲	۱۰۷	۱۳۵	۱۰۱	۱۰۸	۱۳۷	۱۰۷
Zr(ppm)	۵۲	۶۱	۵۶	۵۲	۴۹	۵۳	۵۷	۵۸



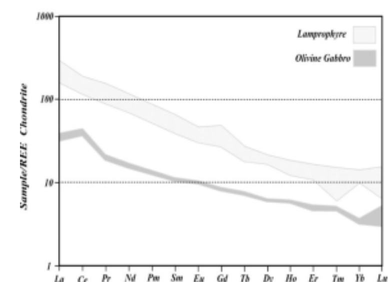
شکل ۴ نمودار سه وجهی K_2O, MgO, Al_2O_3 و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در آن، [۱۲].



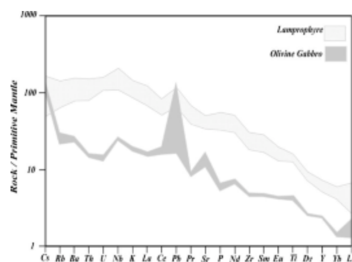
شکل ۵ نمودار سه وجهی Al_2O_3-MgO-CaO و موقعیت نمونه‌های لامپروفیری در آن، [۱۳].



شکل ۶ نمودار $Na_2O + K_2O$ نسبت به SiO_2 و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در آن، [۱۴] (لامپروفیر با نماد دایره و الیوین گابرو با نماد لوزی).



شکل ۷ نمودار عنکبوتی بهنجار شده با REE Chondrite، [۱۶].



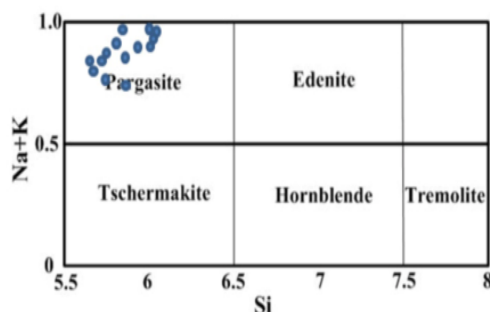
شکل ۸ نمودار عنکبوتی بهنجار شده با Primitive Mantle، [۱۷].

شیمی کانی‌ها

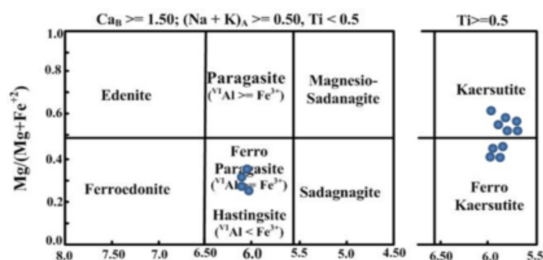
آمفیبول: نتایج آنالیز آمفیبول در نمونه‌های معرف در جدول ۳ ارائه شده‌اند. براساس نمودار Na+K در برابر Si [۱۸] مجموع کاتیون‌های قلیائی آمفیبول‌های منطقه از مقدار مشخص شده برای چرماکیت بیشتر بوده و آن‌ها را در گستره‌ی پارگازیت قرار می‌دهد (شکل ۹). ترکیب آمفیبول‌ها با در نظر گرفتن نمودار Si در مقابل $Mg/(Mg+Fe^{2+})$، که براساس میزان Ti ($Ti<0.5$, $Ti>=0.5$) به دو فیلد تقسیم شده و با در نظر گرفتن نتایج آنالیز میکروپروب نمونه‌های لامپروفیری که میزان Ti اغلب نمونه‌ها بیشتر از ۰/۵ می‌باشد، لذا ترکیب آمفیبول اکثر نمونه‌های لامپروفیری مورد بررسی کرسوتیت تا فروکرسوتیت و تعداد کمی از نمونه‌ها نیز ترکیب فروپارگازیتی نشان می‌دهند (شکل ۱۰). با ترسیم آمفیبول‌های موجود در لامپروفیرها روی نمودار [۱۹] مشاهده می‌شود که ماگمای مولد نمونه‌های مورد بررسی به سری قلیایی وابسته‌اند (شکل ۱۱). کلینوپیروکسن: نتایج حاصل از تجزیه این کانی در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. به منظور جدا کردن دقیق‌تر پیروکسن‌های مورد بررسی، از نمودار مثلثی $Mg-Na-(Fe^{+2}+Mn)$ [۲۰] استفاده شد (شکل ۱۲) که بر این اساس ترکیب شیمیائی کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید ارزیابی می‌شود. در نمودار مثلثی $Ti-Na-Al^{(IV)}$ [۲۱] که نشان دهنده‌ی کلینوپیروکسن‌های $NAT=NaTi_{0.5}R_{0.5}^{2+}Si_2O_6$، $NATA=NaTiSiAlO_6$، $TAL=CaTiAl_2O_6$، $CATS=CaAlAlSiO_6$، $AC=NaFeSi_2O_6$، $JD=NaAlSi_2O_6$ و $UR=NaCrSi_2O_6$ است، ترکیب کلینوپیروکسن‌های الیوین گابروها کاملاً در گستره‌ی Ca چرماک (CATS) قرار می‌گیرند (شکل ۱۳). براساس نمودار رده‌بندی آلبیت، آنورتیت و ارتوکلاز، ترکیب پلاژیوکلازها در لامپروفیرها در گستره‌ی ترکیبی بین آلبیت تا آندزین و در الیوین گابروها بین آندزین (در حاشیه) تا بیتونیت (در مرکز) قرار می‌گیرد. ترکیب میکاهای مورد بررسی در لامپروفیرها بیوتیت و در الیوین گابروها فلوگوپیت تعیین شده است. الیوین‌های مربوط به الیوین گابروی منطقه‌ی هوای دارای ترکیب کریزولیت هستند.

جدول ۳ نتایج آنالیز نقطه‌ای آمفیبول‌های موجود در لامپروفیرهای منطقه.

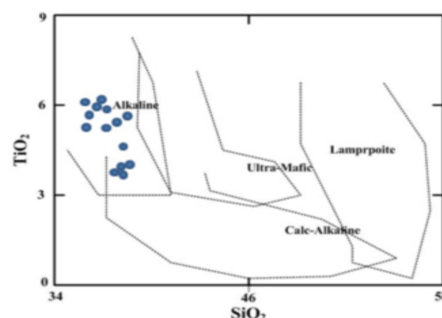
AMP	**AMP1**	**AMP2**	**AMP3**	**AMP4**	**AMP5**	**AMP6**	**AMP7**	**AMP8**	**AMP9**	**AMP10**	**AMP11**	**AMP12**	**AMP13**	**AMP14**
SiO_2	۳۸٫۰۹	۳۷٫۸۸	۳۸٫۴۸	۳۸٫۵۳	۳۹٫۰۷	۳۸٫۴۱	۳۹٫۱۰	۳۹٫۰۱	۳۸٫۸۰	۳۷٫۴۶	۳۷٫۹۶	۳۷٫۰۲	۳۶٫۶۴	۳۷٫۰۹
TiO_2	۵٫۶۹	۶٫۰۳	۳٫۷۷	۴٫۴۰	۳٫۷۰	۵٫۳۵	۵٫۵۷	۳٫۶۴	۳٫۷۸	۵٫۸۵	۵٫۱۸	۶٫۰۸	۵٫۰۸	۵٫۴۲
Al_2O_3	۱۴٫۰۱	۱۴٫۳۰	۱۱٫۹۲	۱۳٫۰۵	۱۲٫۱۲	۱۴٫۴۸	۱۳٫۸۲	۱۲٫۰۵	۱۲٫۱۰	۱۳٫۳۵	۱۲٫۴۶	۱۳٫۵۷	۱۱٫۸۰	۱۲٫۳۲
FeO	۱۳٫۹۲	۱۴٫۳۵	۲۳٫۷۸	۱۹٫۷۱	۲۲٫۳۳	۱۴٫۲۸	۱۲٫۲۵	۲۳٫۴۰	۲۰٫۹۱	۱۵٫۲۸	۱۸٫۴۴	۱۵٫۳۰	۱۹٫۴۲	۱۸٫۲۵
MnO	۰٫۲۳	۰٫۲۱	۰٫۵۳	۰٫۳۸	۰٫۴۸	۰٫۲۱	۰٫۲۰	۰٫۵۳	۰٫۴۳	۰٫۲۱	۰٫۳۲	۰٫۲۱	۰٫۳۴	۰٫۲۹
MgO	۱۰٫۱۹	۹٫۷۹	۴٫۸۳	۶٫۸۳	۵٫۵۴	۹٫۹۱	۱۱٫۲۷	۴٫۹۵	۶٫۴۶	۹٫۲۲	۷٫۶۶	۹٫۲۱	۷٫۱۴	۷٫۸۴
CaO	۱۱٫۹۸	۱۲٫۱۵	۱۱٫۱۶	۱۱٫۵۱	۱۱٫۳۹	۱۲٫۰۹	۱۲٫۱۳	۱۱٫۲۸	۱۱٫۴۶	۱۲٫۱۳	۱۱٫۷۹	۱۲٫۱۲	۱۱٫۶۱	۱۱٫۶۶
Na_2O	۲٫۴۲	۲٫۲۶	۲٫۵۶	۲٫۴۲	۲٫۳۶	۲٫۲۲	۲٫۲۳	۲٫۴۴	۲٫۴۳	۲٫۲۲	۲٫۱۷	۲٫۱۸	۲٫۲۸	۲٫۲۵
K_2O	۱٫۲۹	۱٫۲۹	۱٫۶۹	۱٫۶۰	۱٫۶۸	۱٫۳۳	۱٫۲۵	۱٫۷۵	۱٫۶۵	۱٫۳۲	۱٫۵۵	۱٫۲۸	۱٫۵۲	۱٫۴۵
Cr_2O_3	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰
Summe	۹۷٫۸۲	۹۸٫۲۶	۹۸٫۷۲	۹۸٫۴۳	۹۸٫۶۸	۹۸٫۲۸	۹۷٫۸۲	۹۹٫۰۶	۹۸٫۰۲	۹۷٫۰۴	۹۷٫۵۳	۹۶٫۹۷	۹۵٫۸۴	۹۶٫۵۷
کاتیون‌ها براساس ۲۳ اکسیژن محاسبه														
Si	۵٫۷۶۴	۵٫۷۲۳	۶٫۰۳۴	۵٫۹۴۹	۶٫۰۸۴	۵٫۷۸۰	۵٫۸۵۷	۶٫۰۸۴	۶٫۰۴۹	۵٫۷۷۷	۵٫۸۹۹	۵٫۷۱۰	۵٫۸۴۱	۵٫۸۱۸
Ti	۰٫۶۴۷	۰٫۶۸۵	۰٫۴۴۵	۰٫۵۱۱	۰٫۴۳۳	۰٫۶۰۵	۰٫۶۲۷	۰٫۴۲۷	۰٫۴۴۳	۰٫۶۷۸	۰٫۶۰۵	۰٫۷۰۵	۰٫۶۰۹	۰٫۶۳۹
Al	۲٫۴۹۹	۲٫۵۴۷	۲٫۲۰۳	۲٫۳۷۵	۲٫۲۲۵	۲٫۵۶۸	۲٫۴۴۰	۲٫۲۱۵	۲٫۲۲۴	۲٫۴۲۷	۲٫۲۸۳	۲٫۴۶۷	۲٫۲۱۷	۲٫۲۷۸
Fe^{3+}	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe^{2+}	۱٫۷۶۱	۱٫۸۱۳	۳٫۱۱۸	۲٫۵۴۴	۲٫۹۰۸	۱٫۷۹۷	۱٫۵۳۴	۳٫۰۵۲	۲٫۷۲۶	۱٫۹۷۱	۲٫۳۹۶	۱٫۹۷۳	۲٫۵۸۹	۲٫۳۹۴
Mn	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۷	۰٫۰۷۰	۰٫۰۵۰	۰٫۰۶۳	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲۵	۰٫۰۷۰	۰٫۰۵۷	۰٫۰۲۷	۰٫۰۴۲	۰٫۰۲۷	۰٫۰۴۶	۰٫۰۳۹
Mg	۲٫۲۹۸	۲٫۲۰۵	۱٫۱۲۹	۱٫۵۷۲	۱٫۲۸۶	۲٫۲۲۳	۲٫۵۱۶	۱٫۱۵۱	۱٫۵۰۱	۲٫۱۱۹	۱٫۷۷۴	۲٫۱۱۷	۱٫۶۹۷	۱٫۸۳۳
Ca	۱٫۹۴۲	۱٫۹۶۷	۱٫۸۷۵	۱٫۹۰۴	۱٫۹۰۰	۱٫۹۴۹	۱٫۹۴۷	۱٫۸۸۵	۱٫۹۱۴	۲٫۰۰۴	۱٫۹۶۳	۲٫۰۰۳	۱٫۹۸۳	۱٫۹۵۹
Na	۰٫۷۱۰	۰٫۶۶۲	۰٫۷۷۸	۰٫۷۲۴	۰٫۷۱۲	۰٫۶۴۸	۰٫۶۴۸	۰٫۷۳۸	۰٫۷۳۴	۰٫۶۶۴	۰٫۶۵۴	۰٫۶۵۲	۰٫۷۰۵	۰٫۶۸۴
K	۰٫۲۴۹	۰٫۲۴۹	۰٫۳۳۸	۰٫۳۱۵	۰٫۳۳۴	۰٫۲۵۵	۰٫۲۳۹	۰٫۳۴۸	۰٫۳۲۸	۰٫۲۶۰	۰٫۳۰۷	۰٫۲۵۲	۰٫۳۰۹	۰٫۲۹۰
Cr	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۱	۰	۰	۰٫۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۱	۰
Sum	۱۵٫۹۰۱	۱۵٫۸۷۷	۱۵٫۹۹۱	۱۵٫۹۴۳	۱۵٫۹۴۶	۱۵٫۸۵۲	۱۵٫۸۳۳	۱۵٫۹۷۱	۱۵٫۹۷۷	۱۵٫۹۲۸	۱۵٫۹۲۴	۱۵٫۹۰۶	۱۵٫۹۹۷	۱۵٫۹۳۴
توزیع کاتیون‌ها در سایت‌های بلوری														
Al(IV)	۲٫۲۳۶	۲٫۲۷۷	۱٫۹۶۶	۲٫۰۵۱	۱٫۹۱۶	۲٫۲۲۰	۲٫۱۴۳	۱٫۹۱۶	۱٫۹۵۱	۲٫۲۲۳	۲٫۱۰۱	۲٫۲۹۰	۲٫۱۵۹	۲٫۱۸۲
^{C}Al(VI)	۰٫۲۶۳	۰٫۲۷۰	۰٫۲۳۸	۰٫۳۲۳	۰٫۳۰۹	۰٫۳۴۸	۰٫۲۹۷	۰٫۲۹۹	۰٫۲۷۳	۰٫۲۰۴	۰٫۱۸۲	۰٫۱۷۷	۰٫۰۵۹	۰٫۰۹۶
(Na+K)A	۰٫۹۰۱	۰٫۸۷۷	۰٫۹۹۱	۰٫۹۴۳	۰٫۹۴۶	۰٫۸۵۲	۰٫۸۳۳	۰٫۹۷۱	۰٫۹۷۷	۰٫۹۲۳	۰٫۹۲۴	۰٫۹۰۴	۰٫۹۹۷	۰٫۹۳۴
M/(M+Fe2+)	۰٫۵۶۶	۰٫۵۴۹	۰٫۲۶۶	۰٫۳۸۲	۰٫۳۰۷	۰٫۵۵۳	۰٫۶۲۱	۰٫۲۷۴	۰٫۳۵۵	۰٫۵۱۸	۰٫۴۲۵	۰٫۵۱۸	۰٫۳۹۶	۰٫۴۳۴
100Na/(Na+Ca)	۲۶٫۷۶۹	۲۵٫۱۸۳	۲۹٫۳۳۳	۲۷٫۵۶۱	۲۷٫۲۷۰	۲۴٫۹۴۰	۲۴٫۹۶۳	۲۸٫۱۳۱	۲۷٫۷۳۰	۲۴٫۸۷۹	۲۴٫۹۸۴	۲۴٫۵۵۶	۲۶٫۲۱۹	۲۵٫۸۸۱
100Al/(Al+Si)	۳۰٫۲۴۳	۳۰٫۷۹۵	۲۶٫۷۴۷	۲۸٫۵۳۲	۲۶٫۷۷۵	۳۰٫۷۶۵	۲۹٫۴۱۰	۲۶٫۶۹۲	۲۶٫۸۷۹	۲۹٫۵۸۱	۲۷٫۸۹۷	۳۰٫۱۷۱	۲۷٫۵۱۶	۲۸٫۱۳۷
Al(VI)Fe3+TiCr	۰٫۹۱۱	۰٫۹۵۵	۰٫۶۸۲	۰٫۸۳۴	۰٫۷۴۳	۰٫۹۵۴	۰٫۹۲۴	۰٫۷۲۸	۰٫۷۱۶	۰٫۸۸۳	۰٫۷۸۷	۰٫۸۸۲	۰٫۶۶۹	۰٫۷۳۵



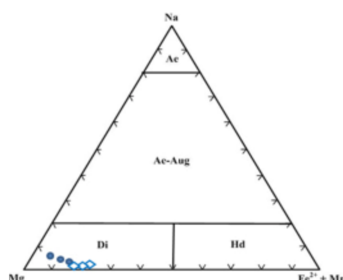
شکل ۹ موقعیت آمفیبول‌های موجود در لامپروفیرها در نمودار (Na+K)-Si، [۱۸].



شکل ۱۰ موقعیت آمفیبول لامپروفیرها در نمودار نسبت کاتیونی $Mg/(Mg+Fe^{+2})$ در برابر Si، [۱۸].



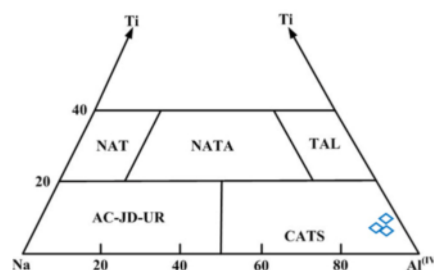
شکل ۱۱ جدایش محیط زمین‌ساختی لامپروفیرهای مورد بررسی با استفاده از ترکیب شیمیائی آمفیبول [۱۹].



شکل ۱۲ ترکیب شیمیائی کلینوپیروکسن‌های موجود در لامپروفیرها و الیوین گابروها بر روی نمودار مثلثی Mg-Na-(Fe+2+Mn)، [۲۰] (علائم همانند شکل ۶).

جدول ۴ نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های موجود در لامپروفیرها (LAM) و الیوین گابروها (OGB).

CPX	LAM1	LAM2	LAM3	OGB1	OGB2	OGB3
SiO_2	۴۹/۳۹	۴۸/۹۳	۴۴/۸۹	۵۴/۸۹	۵۳/۳۸	۵۲/۸۷
TiO_2	۲/۰۲	۰/۱۹	۳/۸	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۲۳
Al_2O_3	۴/۵۳	۴/۴۸	۷/۸۳	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۹۶
FeO	۷/۴۲	۷/۵۲	۸/۱۳	۱۴/۴۳	۱۴/۱۷	۱۵/۷۱
MnO	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۳	۰/۲۸	۰/۲۸
MgO	۱۳/۴۱	۱۳/۲۷	۱۱/۷۳	۲۸/۷۴	۲۸/۷۷	۲۷/۹۶
CaO	۲۳/۰۸	۲۳/۰۹	۲۳/۰۳	۰/۸	۱	۰/۹۷
Na_2O	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵
K_2O	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۵
Cr_2O_3	۰	۰/۰۳	۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۴
Summe	۱۰۰/۴۰	۱۰۰/۰۶	۱۰۰/۰۷	۹۹/۹۶	۹۸/۴۸	۹۹/۱۲
کاتیون‌ها براساس 6 اکسیژن محاسبه شده‌اند						
Si	۱/۸۲۹	۱/۸۲۰	۱/۶۷۸	۱/۹۶۴	۱/۹۳۵	۱/۹۱۵
Ti	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۱۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶
Al	۰/۱۹۸	۰/۱۹۶	۰/۳۴۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۳	۰/۰۴۱
Fe	۰/۲۳۰	۰/۲۳۴	۰/۲۵۴	۰/۴۳۲	۰/۴۳۰	۰/۴۷۶
Mn	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹
Mg	۰/۷۴۰	۰/۷۳۵	۰/۶۵۳	۱/۵۳۳	۱/۵۵۴	۱/۵۰۹
Ca	۰/۹۱۶	۰/۹۲۰	۰/۹۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۹	۰/۰۳۸
Na	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۲
Cr	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Sum	۴	۴	۴	۴	۴	۴
توزیع کاتیون‌ها در سایت‌های بلوری						
T Si	۱/۸۲۹	۱/۸۲۰	۱/۶۷۸	۱/۹۶۴	۱/۹۳۵	۱/۹۱۵
Al(IV)	۰/۱۷۱	۰/۱۸۰	۰/۳۲۲	۰/۰۳۶	۰/۰۶۵	۰/۰۸۵
Fe^{2+}	۰/۱۱۶	۰/۱۰۳	۰/۰۲۵	۰/۳۸۴	۰/۳۲۸	۰/۳۴۹
Fe^{3+}	۰/۱۱۴	۰/۱۳۱	۰/۲۳۰	۰/۰۴۸	۰/۱۰۱	۰/۱۲۷
Mg	۰/۶۸۷	۰/۶۸۸	۰/۶۱۷	۰/۵۷۵	۰/۶۰۴	۰/۵۶۱
Ti	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۱۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶
Cr	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
M2 Na	۰/۰۲۶	۰/۰۲۷	۰/۰۳۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
Ca	۰/۹۱۶	۰/۹۲۰	۰/۹۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۳۹	۰/۰۳۸
Mg	۰/۰۵۳	۰/۰۴۷	۰/۰۳۷	۰/۹۵۷	۰/۹۵۰	۰/۹۴۸
Quad	۱/۷۷۱	۱/۷۵۹	۱/۶۰۰	۱/۹۴۷	۱/۹۲۲	۱/۸۹۶
Jd	۰/۰۵۲	۰/۰۵۵	۰/۰۷۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷
FeII/(FeII+Mg)	۰/۱۳۵	۰/۱۲۳	۰/۰۳۶	۰/۲۰۰	۰/۱۷۴	۰/۱۸۸
Di	۰/۸۶۵	۰/۸۷۷	۰/۹۶۴	۰/۸۰۰	۰/۸۲۶	۰/۸۱۲
Hd	۰/۱۳۵	۰/۱۲۳	۰/۰۳۶	۰/۲۰۰	۰/۱۷۴	۰/۱۸۸
Di%	۸۴/۰۴	۸۵/۰۵	۹۲/۲۱	۷۹/۷۴	۸۲/۳۸	۸۰/۹۳
Hd%	۱۳/۱۲	۱۱/۹۳	۳/۴۶	۱۹/۹۸	۱۷/۴۰	۱۸/۷۰
Ae%	۲/۳۰	۲/۶۹	۳/۹۵	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۵۷



شکل ۱۳ نمودار مثلثی Ti-Na-Al(IV) که در آن کلینوپیروکسن‌های الیوین گابرو در گستره CATS واقع شده‌اند، [۲۱].

گرما-فشارسنجی

به منظور برآورد شرایط دما و فشار تبلور لامپروفیرها از روش‌های متعدد تبادل کاتیونی بهره گرفته شد. ترکیب شیمیائی کانی آمفیبول به‌صورت گسترده برای تعیین فشار سنگ‌های آذرین و دگرگون به کار می‌رود. با استفاده از مقدار کاتیونی آلومینیوم کل موجود در ساختار آمفیبول، درجه‌بندی‌های مختلف از طریق روابط ۱، ۲ و ۳ فشاری بین ۰٫۵± ۶ تا ۰٫۶± ۱۳ و دمای تبلور ۸۷۷٫۶۶ برای لامپروفیرها برآورد شده است. با توجه به این‌که در رابطه‌ی ۲ علاوه بر Altotal از دمای تخمینی نیز بهره گرفته شده است، لذا با توجه به اختلاف قابل توجه فشار محاسبه شده برای تبلور بلورهای آمفیبول در لامپروفیر، فشار محاسبه شده از رابطه‌ی مستقل از دمای (۰٫۵± ۶) (رابطه ۱) استفاده شده است.

(1) $P \pm 0.5\ Kb = -3.92 + 4.23\ Al^{t}$ [۲۲],

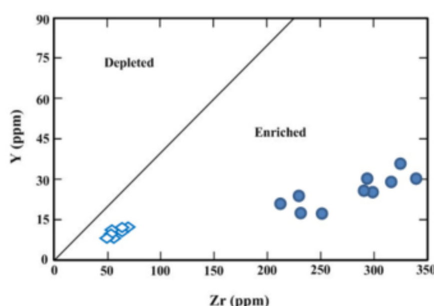
(2) $P \pm 0.6\ Kb = -3.01 + 4.76\ Al^{t} - (T^{oc} - 675/85) \times 0.53\ Al^{t} + 0.005294 \times (T^{oc} - 675)$ [۲۳],

(3) $T^{oc} = 273 \times (Ti/230) + 877$ [۲۴]

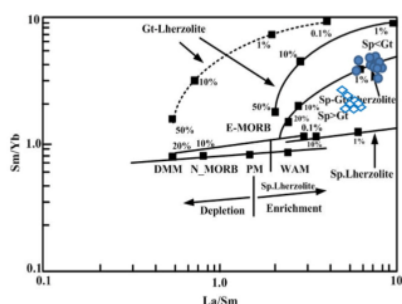
برای تعیین دمای تبلور بلورهای الیوین در ماگمای مولد الیوین گابروی هوای از واکنش بین کلینوپیروکسن-الیوین±اسپینل [۲۵] استفاده شد. بر این اساس دمای معادل ۱۰۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد برای تشکیل این بلورها در الیوین گابروی هوا به دست آمد.

برای تعیین میزان غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی خاستگاه سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی از نسبت Y نسبت به Zr [۱۷]، (شکل ۱۴) استفاده شد. بر این اساس ماگمای مولد نمونه‌های لامپروفیری و الیوین گابروی مورد بررسی از گوشته‌ی غنی شده ریشه گرفته‌اند. نسبت Zr/Nb در سنگ‌های پوسته‌ی بالا و در حدود ۲۲ تا ۲۵ گزارش شده است. در حالی‌که میانگین این نسبت در لامپروفیرها ۲٫۷۲ و در الیوین گابروها ۳٫۲۴ است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این سنگ‌ها از گوشته ریشه گرفته‌اند. همچنین پایین بودن نسبت Zr/Nb در سنگ‌های مورد بررسی بیانگر کمتر بودن درجه‌ی ذوب بخشی است. برای شناسائی کانی‌شناسی و درجه‌ی ذوب بخشی حاصل از نمودار Sm/Yb نسبت به La/Sm [۲۶] (شکل ۱۵) استفاده شد. براساس این نمودار نمونه‌های لامپروفیری در روی منحنی اسپینل– گارنت لرزولیت و نمونه‌های الیوین گابرو در زیر و نزدیک منحنی اسپینل– گارنت لرزولیت قرار می‌گیرند. بنابراین لامپروفیرهای منطقه از ذوب بخشی ۱ درصدی و نمونه‌های الیوین گابرو از ذوب بخشی حدود ۵ درصدی اسپینل – گارنت لرزولیت حاصل شده‌اند. نسبت پایین Ce/Yb در بازالت‌ها نشان دهنده‌ی درجه‌ی ذوب بخشی بالا و وجود اسپینل در فاز باقیمانده بوده و نسبت بالای Ce/Yb بیانگر درجه‌ی ذوب بخشی کم و وجود گارنت در فاز باقیمانده است. میانگین این نسبت در لامپروفیرهای مورد بررسی ۵۶٫۰۳ و در الیوین گابروها ۳۵٫۰۷ است. بنابراین نسبت بالای Ce/Yb در سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی بیانگر درجه ذوب‌بخشی اندک و وجود گارنت در فاز باقیمانده است.
به‌منظور تعیین محیط زمین‌ساختی نمونه‌های لامپروفیری و الیوین گابرو از نمودار مثلثی Th-Hf/3-Nb/16 [۲۷] استفاده شد (شکل ۱۶). با توجه به این نمودار، نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در گستره‌ی درون صفحه‌ای (WP) واقع شده‌اند. براساس نمودار سه‌وجهی $Nb*50-Zr*3-Ce/P_2O_5$ [۲۸] (شکل ۱۷)، تمامی نمونه‌های مورد بررسی در قوس‌های ماگمائی پسا برخوردی قرار گرفته‌اند. خاستگاه ماگماتیسم قلیایی در محیط‌های کششی درون صفحه‌ای هم‌چنان مورد بحث است. در حال حاضر عقیده بر این است که بازالت‌های قلیایی جزایر اقیانوسی (OIB) تنها از گوشته‌ی استنوسفری مشتق می‌شوند ولی ماگماهای قلیایی درون قاره‌ای می‌توانند به وسیله‌ی ذوب بخشی گوشته‌ی دگرنهادی غنی از LREE و LILE ایجاد شوند. غنی‌شدگی از Ba ،Pb و LREE و تهی‌شدگی از HREE در ماگماهای قلیایی قاره‌ای را می‌توان به خاستگاه گوشته لیتوسفری نسبت داد. نئوتتیس اقیانوسی با راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی بوده است که با گشایش آن ایران از سرزمین‌های گندوانائی جدا شده و با حرکت رو به شمال و بستن اقیانوس پالئوتتیس، به اوراسیا ملحق شده است. مدل‌های ژئودینامیکی مختلفی در خصوص زمان باز و بسته

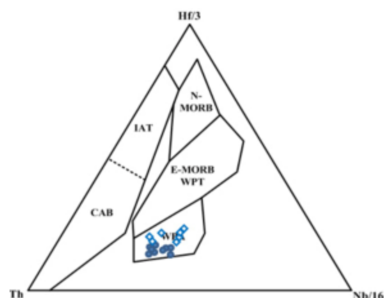
شدن و شکل‌گیری‌های این اقیانوس در ایران در سالیان اخیر ارائه شده است برای مثال: [۲۹، ۳۰ و ۳۱]. در مدل‌های فوق سه زمان باز شدن برای نئوتتیس بیان شده که شامل الف- کالدونین [۲۹]، ب- هرسی‌نین [۳۱] و ج- سیمرین پیشین [۳۰]. برای زمان بسته شدن نیز سه بازه‌ی زمانی الف- کرتاسه فوقانی-پالئوسن (فاز لارامید) [۲۹]، ب- الیگوسن [۳۲] و ج- میوسن پسین-پلیوسن [۳۱]. همچنین در مدل‌های ژئوتکتونیکی ارائه شده برای شکل‌گیری نئوتتیس فرورانش منفرد، فرورانش مزدوج همزمان و نا همزمان برای مرحله‌ی فعال این اقیانوس در نظر گرفته شده است. با توجه به داده‌های حاصل از این پژوهش و موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای جدا کننده‌ی محیط زمین‌ساختی (قوس پسا برخوردی)، از تنها مدل قابل استناد [۲۹] استفاده شد. در این مدل برای مرحله‌ی فعال نئوتتیس دو فرورانش متوالی، همزمان و همسو در نظر گرفته شدند. این دو فرورانش همزمان با تولید همبافت جزائر قوسی و حاشیه‌ی فعال قاره در مزوزوئیک همراه بوده‌اند (بازه‌ی زمانی ژوراسیک زیرین تا کرتاسه فوقانی). در این مدل قوس-های ماگمائی ارومیه-دختر و البرز غربی-آذربایجان به‌عنوان قوس‌های ماگمائی پسا برخورد در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به سن نسبی ارائه شده برای توده‌های لامپروفیری و گابروی قلیایی هوای (الیگوسن)، چنین تصور می‌شود که فرآیندهای کششی پسا برخورد، باعث فعال شدن گسل‌های عمیق لیتوسفری در پوسته‌ی ایران شده و با فعالیت آن‌ها و کاهش فشار از روی گوشته‌ی دگرنهاد، ذوب‌بخشی با نرخ کم (۵ درصد) در گوشته اسپینل-گارنت لرزولیتی رخ داده است. دیاپیرهای ماگمائی تولید شده که سرشت بازالت قلیایی داشته-اند، از گوشته‌ی لیتوسفری صعود کرده و در قاعده‌ی پوسته متوقف شده‌اند و ضمن ذوب پوسته و آلایش با حجم اندک گدازه‌های پوسته‌ای (تقابل بازالت قلیایی گوشته‌ای با مقادیر جزئی پوسته) و تشکیل ماگمای M1 پیشنهادی [۳۳]، ماگمای لامپروفیری قلیایی شکل گرفته و با صعود به ترازهای بالاتر، به شکل لاکولیت در هسته طاقدیس‌های از قبل موجود، جای-گیری کرده است. متعاقب آن با صعود دیاپیرهای ماگمای بازالتی قلیایی به سمت بالا، توده‌ی لاکولیتی یاد شده به وسیله فراورده‌های عمقی این دیاپیر (گابروی قلیایی) قطع شده است (شکل ۱۸).



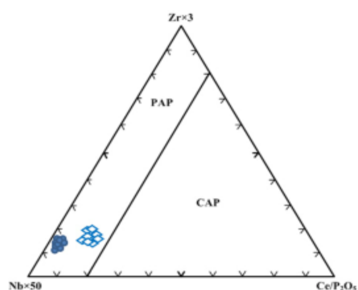
شکل ۱۴ نمودار Y-Zr برای تفکیک خاستگاه غنی شده و تهی شده [۱۷] (علائم همانند شکل ۶).



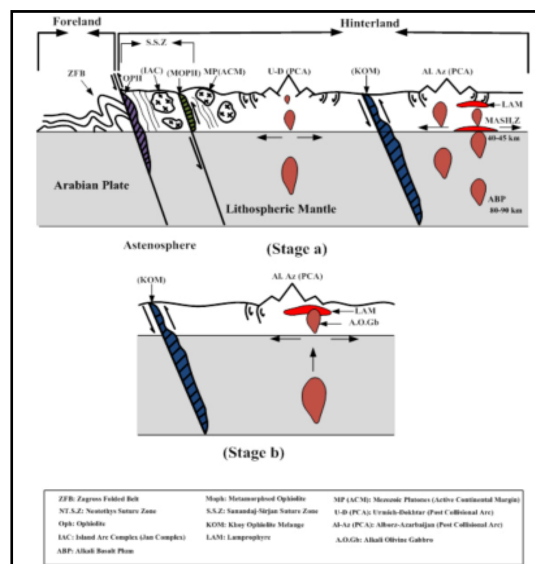
شکل ۱۵ نمودار Sm/Yb-La/Sm برای تعیین منشا و درجه ذوب بخشی، [۲۶] (علائم همانند شکل ۶).



شکل ۱۶ نمودار Th-Hf/3-Nb/16 و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در آن، [۲۷] (علائم همانند شکل ۶).



شکل ۱۷ نمودار $Nb*50-Zr*3-Ce/P_2O_5$ و موقعیت نمونه‌های لامپروفیری و گابروئی در آن، [۲۸] (علائم همانند شکل ۶).



شکل ۱۸ مدل ژئوتکتونیکی جایگیری توده لامپروفیری و گابروی قلیایی بر اساس (مؤید ، ۲۰۰۱) .

برداشت

نتایج حاصل از این پژوهش به شرح زیراند: ۱- بررسی‌های صحرائی نشان می‌دهد که توده‌ی لامپروفیری هوای به شکل یک لاکولیت در هسته‌ی طاقدیس پلانچداری با روند محوری WNW–ESE و متشکل از نهشته‌های فیلیشوئیدی کرتاسه فوقانی– پالئوسن تزریق شده وخود به وسیله استوک گابروئی قلیایی قطع شده است. ۲- با توجه به کانی‌شناسی اصلی آمفیبول، کلینوپیروکسن، بیوتیت، الیوین و خمیره‌ی متشکل از پلاژیوکلاز یا پتاسیم فلدسپار و کانی‌های فرعی آپاتیت و کانی‌های تیره، ترکیب لامپروفیر هوای کامپتونیت تا سانائیت ارزیابی شده و گابروی قلیایی نیز با کانی‌شناسی اصلی الیوین، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و کانی‌های فرعی فلوگوپیت، آپاتیت و کدر مشخص می‌شود. ۳- بررسی‌های شیمی کانی‌ها، نشان می‌دهد که ترکیب آمفیبول، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و میکا در توده‌ی لامپروفیری به‌ترتیب پارگازیت تا فروچرماکیت، دیوپسید، آلبیت تا آندزین و بیوتیت بوده و ترکیب الیوین، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و میکا در گابروی قلیایی به ترتیب کریزولیت، دیوپسید تا کلسیم چرماک، آندزین تا بیتونیت و فلوگوپیت هستند. ۴- دمای فشارسنجی لامپروفیرها با استفاده از مقدار کاتیونی آلومینیوم کل در ساختار آمفیبول [۲۲، ۲۳ و ۲۴] نشان می‌دهد که آمفیبول موجود در لامپروفیر هوای در فشار ۶ کیلوبار و دمای ۸۷۷ درجه‌ی سانتی‌گراد متبلور شده است. براساس واکنش بین کلینوپیروکسن–الیوین±اسپینل [۲۵] در گابروی قلیایی، دمای تبلور الیوین در این توده در ۱۰۱۳ درجه‌ی سانتی‌گراد رخ داده است. ۵- ماگمای مولد لامپروفیرها و گابروی قلیایی براساس نمودار TAS دارای سرشت قلیایی است. ۶- هر دو گروه سنگی غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE داشته و بررسی نسبت Y/Zr نشان می‌دهد که ماگمای مولد این گروه‌های سنگی از گوشته غنی شده ریشه گرفته‌اند. پائین بودن نسبت Zr/Nb نشانگر نرخ ذوب کم گوشته غنی شده و تولید ماگمای قلیایی مولد گابرو و لامپروفیر هواست.۷- بررسی نرخ ذوب بخشی بر اساس نمودار La/Sm - Sm/Yb نشان می‌دهد که نمونه‌های لامپروفیری و گابروی قلیایی به ترتیب از نرخ ذوب یک و پنج درصدی اسپینل– گارنت لرزولیت غنی شده ریشه گرفته‌اند. این ویژگی با نسبت پائین Ce/Yb در این گروه‌های سنگی حمایت می‌شود و نشانگر باقی ماندن گارنت در فاز تفاله است. همچنین غنی‌شدگی از Pb، Ba، LREE و تهی‌شدگی از HREE در ماگمای قلیایی به ریشه گرفتن آن‌ها از گوشته‌ی غنی شده اشاره دارد. ۸- نمونه‌های لامپروفیری و گابروی قلیایی در نمودارهای جدایشی قوس‌های ماگمائی پسا برخوردی و حواشی فعال قاره‌ای [۲۸] در گستره‌ی قوس‌های ماگمائی پسا برخوردی قرار می‌گیرند. ۹- بر اساس [۲۹] پسا برخورد پلیت عربی و ایران در کرتاسه فوقانی– پالئوسن ماگمای بازالتی قلیایی در طی فاز کششی پیرنئن از ذوب بخشی اندک گوشته‌ی لیتوسفری غنی شده ریشه گرفته و پس از توقف در قاعده‌ی پوسته‌ی قاره‌ای و آلایش اندک با مواد پوسته‌ای به ماگمای لامپروفیری قلیایی تبدیل شده و با صعود به ترازهای بالای پوسته در سنگ‌های چین خورده‌ی کرتاسه فوقانی– پالئوسن تزریق شده و به دنبال آن با صعود، تپ دیگری از ماگمای بازالتی قلیایی و تزریق آن به درون لامپروفیر قلیایی، گابروی قلیایی شکل گرفته است.

مراجع

[۱] مؤید م.، عامل ن.، "*پتروگرافی و پتروژنز توده لامپروفیری شریف‌آباد (غرب خوی)*"، مجموعه مقالات ششمین سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه کرمان، (۱۳۸۱) ۴۸۶-۴۸۳.

[۲] عامل ن.، "*مطالعه پترولوژی توده لامپروفیری منور (شمال‌غرب تبریز)*"، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۷۸).

[3] Moayyed M., Moazzen M., Calagari A. A., Jahangiri A., Modjarrad M., "*Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy Peninsula, NE Iran: Implications for deep-mantle metasomatism*", Chemie der Erde 68 (2006) 141-154.

[۴] مؤذن م.، مؤید م.، حسین‌زاده ق.، "*پتروگرافی و پترولوژی دایک لامپروفیری قخلار (غرب مرند)*"، مجموعه مقالات هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۲).

[۵] اکبرزاده لاله م.، "*پتروگرافی و پترولوژی دایک لامپروفیری کوه گوی‌پشتی (شمال‌غرب مراغه)*"، رساله کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تبریز، (۱۳۹۲) ۱۰۷ صفحه.

[۶] واحدالعین س.، "*پترولوژی و پتروژنز دایک‌های لامپروفیری منطقه الماس (شمال‌شرق تسوج)*"، رساله کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه تبریز، (۱۳۹۲) ۹۲ صفحه.

[۷] عبدیلی بهلول‌آبادی م.، مؤید م.، جهانگیری ا.، حسین‌زاده ق.، "*بررسی پتروگرافی، شیمی کانی، جایگاه تکتونیکی و دما-فشار سنجی دایک لامپروفیری کرینگان (شمال‌غرب ورزقان-آذربایجان‌شرقی)*"، اولین همایش زمین‌شناسی کاربردی ایران، دانشگاه دامغان، (۱۳۹۲) ص ۹۰۹-۹۱۶.

[۸] شیردل ن.، مؤید م.، جهانگیری ا.، "*کانی‌شناسی و پتروژنز لامپروفیرهای آلکالن شمال‌شرق هوراند (استان آذربایجان-شرقی)*"، مجموعه مقالات بیست و هفتمین گردهمائی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، (۱۳۸۸).

[9] Stocklin J., "*Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia*", Memoir Hors serie de la Societe Geologique de France, No 8 (1977) 333-335.

[10] Aghanabati S. A., "*Geology of Iran*", GSI, Tehran, 603 pp (in Persian).

[11] Whitney D. L., Evans B. W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American Mineralogist, V. 95 (2010) 185–187.

[12] Bergman S. C., "*Lamprolites and other potassium-rich igneous rocks*", a review of their occurrence mineralogy and geochemistry, In: Fiton J. G., Upton B. G. J., (Eds.), Alkaline Igneous Rocks, vol 30, Geol. Soc. Spec. Publication (1987) 103–190.

[13] Rock N. M. S., "*The nature and origin of lamprophyres*", an overview In: Fitton J. G., Upton B. G. J., (Eds.), Alkaline Igne- 304 F. Guo et al., Lithos 78 (2004) 291–305 ous Rocks, Geol. Soc. Spec. Pub, vol. 30. Blackwell, London (1987) 191–226.

[14] Irvine T. N., Baragar W. R. A., "*A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks*", Canadian Journal of Earth Science 8 (1971) 523–48.

[15] Ali S., Ntaflos T., "*Alkali basalts from Burgenland, Austria: Petrological constraints on the origin of the western most magmatism in the Carpathian-Pannonian Region*", Lithos 121(1-4) (2011) 176-188.

[16] Boynton W. V., "*Geochemistry of the rare earth elemants: meteorite studies*", In: Henderson P., (Ed.), Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier (1984) 63-114.

[17] Sun S. S., McDonough W. F., "*Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and proccesse*", In Saunders A. D., Norry M. J., (eds) Magmatism in ocean basins. Geological Society of London Special Publication 42 (1989) 313-345.

[18] Leake B. E., Woolleny A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J. A., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J. C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G., "*Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommitte on Amphiboles of the International Mineralogical Association*", Commission on New Minerals and Mineral Names, American Mineralogist 82 (1997) 1019-1037.

[19] Droop G. T. R., "*A general equation for estimating Fe^{3+} concentration in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analysis, using stoichiometric criteria*", Mineralogical Magazine 5 I (1987) 431-435.

[20] Eby G. N., Woolley A. R., Din V., Platt G., "*Geochemistry and petrogenesis of nepheline syenites: Kasungu-Chipala, Ilomba, and Ulindi nepheline syenite intrusions, North Nyasa Alkaline Province, Malawi*", Journal of Petrology v. 39 (1998) 1405-1424.

[21] Papike J. J., Cameron K. L., Baldwin K., "*Amphiboles and Pyroxenes: characterization of*

[28] Muller D., Groves D. I., "*Pottasic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*", Sec, Updated Springer Verlag (1997) 242pp.

[۲۹] مؤید م.، *"بررسی‌های پترولوژیکی نوار ولکانو-پلوتونیک ترشیاری البرزغربی-آذربایجان با نگرشی ویژه بر منطقه هشتجین"*، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، (۱۳۸۰) ۳۲۸ صفحه.

[30] Ghassemi A., Talbout C. J., "*A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)*", Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683 – 693.

[31] Mehdipour Ghazi J., Moazzen M., Rahgoshay M., Shafaii Moghadam S., "*Geochemicl characterstics of basaltic rocks from the Nain ophiolite (Central Iran): constraints on mantle wedge source evolution in an oceanic back arc basin and a geodynamical model*", Tectonophysics 574–575 (2012) 92–104pp.

[32] Agard P., Monie P., Gerber W., Omrani J., Molinaro M., Meyer B., Labrousse L., Jolivet L., Yamato P., "*Transient, synobduction exhumation of Zagros blueschists inferred from P–T, deformation time and kinematic constraints: implications for Neotethyan wedge dynamics*", Geophysical Research 111 (2006) B 11401.

[33] Rock N. M. S., "*Lamprophyres*", Blackie, Glasgow (1991) 285pp.

other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data", Geology Society of America 6 (1974) 1053-1054.

[22] Harker B. R., "*Igneous, sedimentary and metamorphic petrology*", John Wiley and sons (1997) 529pp.

[23] Blundy J. D., Holland T. J. B., "*Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer*", Contributions to Mineralogy and Petrology 104 (1990) 208–224.

[24] Anderson J .L., Smith D. R., "*The effects of temperature and* $f0_2$ *on the Al-in-hornblende barometer*", Amarican Mineralogist 80 (1995) 549-559.

[25] Powell M., Powell R., "*An olivine-clinopyroxene geothermometer*", Contributions to Mineralogy and Petrology 48 (1974) 249-263.

[26] Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirlwall M. F., Mitchell J. G., "*Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia*", Turkey Journal of Volcanology and Geothermal Research 102 (2000) 67-95.

[27] Wood D. A., "*The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province*", Earth and Planetary Sciences Letters 50 (1980) 11-30.